УДК 007:631.2

Л.В. БОРИСОВА, Н.М. СЕРБУЛОВА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ НАСТРОЙКИ ЖАТВЕННОЙ ЧАСТИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Рассматриваются некоторые аспекты представления нечетких экспертных знаний предметной области «предварительная настройка жатвенной части комбайна». Предлагаемая модель предметной области служит основой базы знаний экспертной системы по технологическому обслуживанию комбайнов.
Ключевые слова: *жатвенная часть, нечеткие знания, модель, экспертная система.*

Введение. Исследование настройки технологического процесса жатвенной части зерноуборочного комбайна выявило:

1. Рассматриваемая задача относится к разряду плохо формализуемых, при этом решения должны приниматься в условиях природной неопределенности и в ограниченное время (в связи со сжатыми сроками уборки).
2. Знания представлены в виде эвристик, что затрудняет их обработку традиционными способами.
3. Отсутствуют модели технологического процесса, позволяющие принять эффективное решение.
4. Отсутствуют высококвалифицированные специалисты для технологического обслуживания машин.

Одно из возможных направлений решения проблемы, позволяющее обеспечить высокую эффективность принятия решений при проведении уборочных работ, связано с применением новых подходов в моделировании и использованием информационных технологий [1]. Внедрение экспертных систем компенсирует отсутствие экспертов, некомпетентность операторов и позволяет снизить информационную нагрузку на оператора.

Для построения оптимальных алгоритмов предварительной настройки необходимо знать точные значения регулировочных параметров системы. Последние нередко известны только приближенно, причем в процессе работы комбайна они могут изменяться в широких пределах. Кроме того, при функционировании зерноуборочных комбайнов на них действуют различные внешние факторы среды, которые имеют случайный характер и не всегда могут быть четко отражены в алгоритме управления. В результате комбайн работает с неотрегулированными рабочими органами, с превышением допустимого уровня потерь зерна из-за неумения оператора выполнить технологическую настройку.

Технологическая настройка жатвенной части комбайна проводится на основе анализа условий уборки и с учетом целей уборки. Неточность определения значений факторов внешней среды приводит к неоптимальному выбору начальных значений регулируемых параметров жатвенной части и, в конечном итоге, к длительному процессу настройки комбайна. Основной причиной этого является то, что в соответствующих рекомендациях

приводятся определенные цифровые значения (зачастую пределы регулировок), а не значения, соответствующие конкретным показателям условий уборки [1-4]. В связи с этим важной задачей является выявление взаимосвязи между факторами внешней среды и соответствующими значениями регулировочных параметров рабочих органов жатвенной части комбайна в целях ее оптимальной настройки (рис.1).

Характеристика предметной области. Конструктивные регулировки необходимо проводить с учетом общего состояния стеблестоя, рельефа поля и в соответствии с инструкцией по эксплуатации жатки. Эксплуатационные регулировки (настройка) проводятся в процессе работы в зависимости от вида и состояния убираемой культуры [2]. Необходимо также выделять нерегулируемые параметры технического состояния жатвенной части, проверка которых ведется перед началом работ.

Нарушение технологического процесса жатвенной части вызывает забивание режущего аппарата хлебной массой, наматывание стеблей на граблины и переброс их через корпус жатки, потери зерна за жаткой и в срезанном колосе, неполный срез стеблей и т.д.

Наличие альтернативных вариантов проведения настройки

Отклонение условий уборки от оптимальных

Неизвестность степени влияния условий уборки на регулировочные параметры

Наличие не одного, а нескольких нарушений качества работы

Неоптимальная настройка жатвенной части комбайна

Неизвестность причины появления отклонений

Взаимоисключающее влияние изменения параметров рабочих органов, когда для устранения одного отклонения используется регулировочный параметр, изменение которого приводит к появлению другого отклонения

Громоздкость существующих методов проведения настройки

Рис.1. Факторы, осложняющие проведение настройки жатвенной части

Анализ предметной области показал, что целесообразно выделить три группы регулируемых параметров: конструктивные регулировки (зазор между сегментами и противорежущей пластиной, натяжение ремня вариатора привода мотовила, зазор между планками транспортера и днищем наклонной камеры и др.), эксплуатационные регулировки (положение мотовила по вертикали, вынос мотовила по горизонтали, частота вращения мотовила и скорость движения комбайна) и нерегулируемые параметры технического состояния рабочих органов жатвенной части (состояние привода мотовила, состояние сегментов, состояние спинки ножа и др).

На выбор и обоснование регулировок рабочих органов жатвенной части влияют биологические и физико-механические факторы внешней

среды: высота хлебостоя (ВХ); полеглость стеблестоя (ПСт); спутанность стеблестоя (ССт); прочность стебля (ПСт); влажность хлебостоя (ВХ); засоренность хлебостоя (ЗХ); густота хлебостоя (ЗХ); массовое отношение зерна к незерновой части (СОЛ); фаза спелости хлебов (ФСХ) и др.

Моделирование нечетких экспертных знаний. Обеспечение оптимального уровня настройки жатвенной части, является сложной задачей, так как используется 56 регулировок и параметров, зависящих от факторов внешней среды. В этом случае нечеткое управление оказывается особенно эффективным, так как процесс настройки жатвенной части является слишком сложными для анализа с помощью общепринятых методов ввиду того, что информация, поступающая по каналам связи, интерпретируется качественно, неточно и неопределенно. Наличие математических средств отражения нечеткости поступающей информации позволяет построить модель, адекватную реальности.

Для идентификации различных состояний рассматриваемой системы нами определены лингвистические переменные для регулируемых параметров жатвенной части (скорости движения, частоты вращения мотовила, положения мотовила по высоте, выноса мотовила по горизонтали, зазоров между витками шнека и днищем, пальцами шнека и днищем и др.) и факторов внешней среды (урожайности культуры, засоренности, соломистости, полеглости и др.). В дальнейшем изложении для простоты и общности факторы внешней среды (вектор входных ситуаций) и регулируемые параметры машины (вектор выходных ситуаций) будем рассматривать в качестве переменных нечеткой системы.

Лингвистическая переменная (ЛП) определяется кортежем [5]

$$\langle \beta ; T ; U ; G ; M \rangle ,$$

где β – наименование ЛП, отражающей некоторый объект или параметр изучаемой предметной области; T – множество ее значений, или термов, представляющих собой наименования нечетких переменных, областью определения каждой из которых является множество U; G – синтаксическая процедура, описывающая процесс образования из множества *T* новых, осмысленных для данной задачи принятия решений (ПР) значений лингвистической переменной; M – семантическая процедура, позволяющая приписать каждому новому значению, образуемому процедурой G, некоторую семантику путем формирования соответствующего нечеткого множества, т.е. отобразить новое значение в нечеткую переменную.

В общем случае базовое терм-множество рассматриваемых ЛП имеет вид

$$T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots T_m^i\}, \ (i \in K = \{1, 2, \dots, l\}).$$

Здесь $\langle T_i , X ; \widetilde{C}_i \rangle$ – нечеткая переменная, соответствующая терму $T_i \in T$; $\widetilde{C}_i = \{\langle \mu_{C_i}(x)/x \rangle\} \ (x \in X)$; C_i – носитель нечеткого множества $\widetilde{C}_i$; $\mu_{C_i}(x)$ - функция принадлежности. Базовое терм-множество образуется на основе экспертных суждений. Расширенное терм-множество может быть получено реализацией G-процедуры с применением модификатора m (m соответствуют такие слова, как ОЧЕНЬ, БОЛЕЕ ИЛИ МЕНЕЕ, НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ, СРЕДНИЙ и др.) и квантификатора Q (Q соответствуют слова типа

БОЛЬШИНСТВО, НЕСКОЛЬКО, МНОГО, НЕМНОГО, ОЧЕНЬ МНОГО и др.). Например, для лингвистической переменной «Полеглость стеблестоя» базовое терм-множество есть T_X = { $\mathbf{a_{X1}; a_{X2}; a_{X3}}$} = {прямостоящий; низкая; высокая}, а расширенное терм-множество есть T_X = { $\mathbf{a_{X1}; a_{X2}; a_{X3}\ a_{X4}; a_{X5}}$} = { прямостоящий; очень низкая, низкая; высокая, очень высокая }.

Результаты моделирования. На основании методики [6, 7] нами произведено лингвистическое описание семантических пространств рассматриваемой предметной области. Функции принадлежности, определяющие семантику базовых значений входных и выходных переменных представлены в табл.1 и 2.

Таблица 1

Наименования лингвистических переменных и их термы

Лингвистические переменные	Кортеж лингвистической переменной
«Урожайность, ц/га» «УРОЖ» - $\mu_{УР}$: X→ [0; 1]	<УРОЖАЙНОСТЬ, ц/га {10, 20, 30, 40, 50, 60}, [10 - 60], >
«Влажность хлебостоя, %», «ВХ» - $\mu_{ВХ}$: X→ [0; 1]	<ВЛАЖНОСТЬ ХЛЕБОСТОЯ,% {Сухой; Нормальный, Влажный}, [0 - 30] > ВХ ={СХл, НОРХл, ВЛХл}
«Влажность зерна, %», «ВЗ» - $\mu_{ВЗ}$: X→ [0; 1]	<ВЛАЖНОСТЬ ЗЕРНА,% {Сухое; Средневлажное, Влажное}, [0 - 30] > ВЗ ={СВЗ, СрВЗ, ВВЗ}
«Засоренность хлебостоя, %», «ЗХ» - $\mu_{ЗХ}$: X→ [0; 1]	<ЗАСОРЕННОСТЬ ХЛЕБОСТОЯ, % {Низкая, Большая}, [0 - 40] > ЗХ ={НЗХ, БЗХ, %}
«Полеглость хлебостоя, %», «ПХ» - $\mu_{ПХ}$: X→ [0; 1]	< ПОЛЕГЛОСТЬ ХЛЕБОСТОЯ, % {Очень малая (прямостоящий); Низкая, Высокая}, [0 - 100] > ПХ ={ПХ, НПХ, ВПХ}
«Соломистость, %», «СОЛ» - $\mu_{СОЛ}$: X→ [0; 1]	<СОЛОМИСТОСТЬ, % {Малая, Нормальная}, [40 - 70] > СОЛ ={МСОЛ, НСОЛ}
«Густота хлебостоя, стеб/м^2 », «ГХ» - $\mu_{ГХ}$: X→ [0; 1]	<ГУСТОТА ХЛЕБОСТОЯ, стеб/м^2 {Разреженный, Средний, Густой}, [100-1000] > ГХ ={РХ, СГХ, ГХ, стеб/м^2},
«Спутанность хлебостоя, %», «СХ» - $\mu_{СХ}$: X→ [0; 1]	<СПУТАННОСТЬ ХЛЕБОСТОЯ, % {Нормальный, Спутанный}, [0 - 60] > СХ ={НСХ, СХ, %},
«Высота хлебостоя, см» «ВХ» - $\mu_{ВХ}$: X→ [0; 1].	< ВЫСОТА ХЛЕБОСТОЯ, см {Низкорослый, Средний, Высокий}, [30-120] > ВысХ ={НХ, СрХ, ВХ см},

Таблица 2

Наименования лингвистических переменных выходов системы и их термы

Лингвистические переменные	Кортеж лингвистической переменной
«Скорость движения комбайна, км/ч, для пшеницы и урожайности 50 ц/га», «ГХ» - $\mu_{СК}$: X→ [0; 1]	<Скорость движения – 50, км/ч {Низкая, Номинальная, Высокая}, [1 – 6]> СК={НизСК, НСК, ВСК, км/ч}
«Зазор между пальцами битера проставки и днищем, мм», «ЗПБД» - $\mu_{ЗПБД}$: X→ [0; 1]	<ЗПБД, мм {Малый, Большой},[0 – 20]> ЗПБД ={МЗПБД, БоЗПБД, мм}
«Зазор между битером проставки и днищем, мм», «ЗБПД» - $\mu_{ЗБПД}$: X→ [0; 1]	<ЗБПД, мм {Малый, Большой},[0 – 20]> ЗБПД ={МЗБПД, БоЗБПД, мм}
«Зазор между пальцами шнека и днищем жатки, мм», «ЗПШД» - $\mu_{ЗПШД}$: X→ [0; 1]	<ЗПШД, мм {Малый, Большой},[0 – 20]> ЗПШД ={МЗПШД, БоЗПШД, мм}
«Зазор между витками шнека и днищем жатки, мм», «ЗШД» - $\mu_{ЗШД}$: X→ [0; 1]	<ЗШД, мм {Малый, Большой},[0 – 20]> ЗШД ={МЗШД, БоЗШД, мм}
«Высота среза, мм», «ВС» - $\mu_{ВС}$: X→ [0; 1]	<ВС, мм {Низкая, Средняя, Высокая},[50 – 800]> ВС ={НВС, СрВС, ВВС, мм}
«Вынос мотовила по горизонтали, см», «ВМГ» - $\mu_{ВМГ}$: X→ [0; 1]	<ВМГ, мм {Незначительный, Средний, Дальний},[250 – 640]> ВМГ ={МЗШД, БоЗШД, мм}
«Положение мотовила по высоте, см», «ПМВ» - $\mu_{ВМВ}$: X→ [0; 1]	<ПМВ, мм {Низкое, Среднее, Высокое},[-150 – 1200]> ПМВ ={НПМВ, СрПМВ, ВПМВ мм}

На рис.2 и в табл.3 представлены в качестве примера вид и параметры функции принадлежности термов лингвистических переменных (ФП) «Высота хлебостоя».

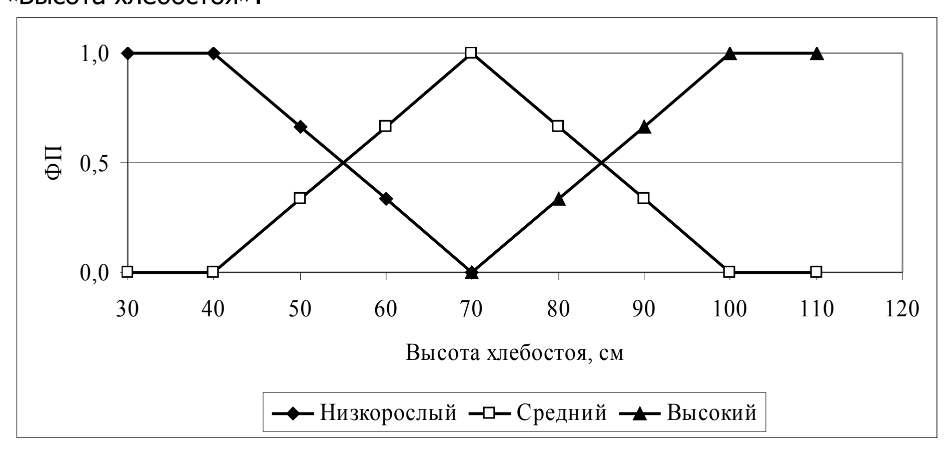


Рис.2. Функции принадлежности термов лингвистических переменных «Высота хлебостоя»

Таблица 3

Вид и параметры функций принадлежности ЛП «Высота хлебостоя»

Термы ЛП «Высота хлебостоя»	Выражение для функции принадлежности	Значения параметров ФП
Низкорослый	$\mu_1(x,a,b) = \begin{cases} 1, & \text{если} \quad x \le \\ \dfrac{b-x}{b-a}, & \text{если} \quad x < \\ 0, & \text{если} \quad x \ge \end{cases}$	a = 40; b = 70
Средний	$\mu_1(x,a,b,c) = \begin{cases} 0, & \text{если} \quad x \\ \dfrac{x-a}{c-a}, & \text{если} \quad a < \\ \dfrac{b-x}{b-c}, & \text{если} \quad c < \\ 0, & \text{если} \quad x \end{cases}$	a = 40; b =100; c =70
Высокий	$\mu_1(x,a,b) = \begin{cases} 0, & \text{если} \quad x \le \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & \text{если} \quad x < \\ 1, & \text{если} \quad x \ge \end{cases}$	a = 70; b = 100

На рис.3 и в табл.4 представлены в качестве примера вид и параметры функции принадлежности термов ЛП «Положение мотовила по высоте».

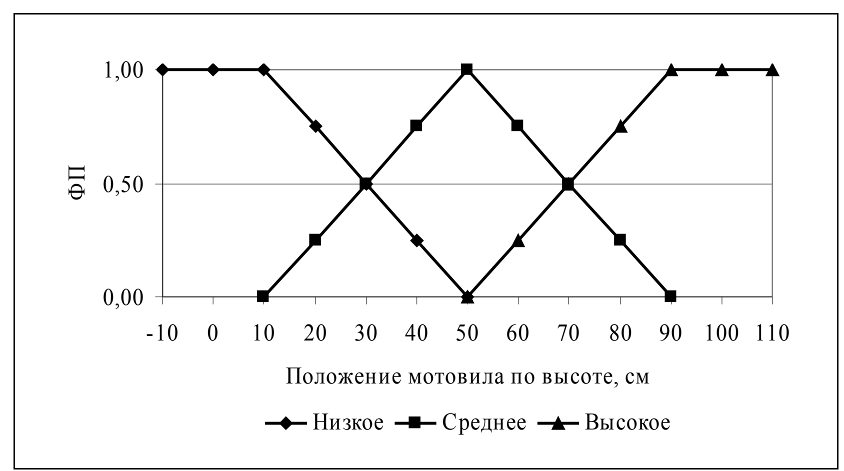


Рис.3. Функции принадлежности термов
ЛП «Положение мотовила по высоте»

Таблица 4

Вид и параметры функций принадлежности термов
ЛП «Положение мотовила по высоте»

Термы ЛП «Положение мотовила по высоте»	Выражение для функции принадлежности	Значения параметров ФП
Низкая	$\mu_1(x,a,b)=\begin{cases}1, & если\quad x\le a\\ \dfrac{b-x}{b-a}, & если\quad x<b\\ 0, & если\quad x\ge b\end{cases}$	a = 10; b = 50
Номинальная	$\mu_1(x,a,b,c)=\begin{cases}0, & если\quad x\le a\\ \dfrac{x-a}{c-a}, & если\quad a<x\le c\\ \dfrac{b-x}{b-c}, & если\quad c<x<b\\ 0, & если\quad x\ge b\end{cases}$	a = 10; b = 90; c = 50
Высокая	$\mu_1(x,a,b)=\begin{cases}0, & если\quad x\le a\\ \dfrac{x-a}{b-a}, & если\quad x<b\\ 1, & если\quad x\ge b\end{cases}$	a = 50; b = 90

Заключение. Предлагаемый подход, основанный на моделях экспертных знаний, позволяет объединить всю имеющуюся неоднородную информацию (детерминированную, статистическую, лингвистическую), характеризующую внешнюю среду, параметры технического состояния комбайна и показатели качества его работы, и использовать при построении систем поддержки принятия решений в области эксплуатации уборочных машин. В результате исследований предложено лингвистическое описание семантических пространств исследуемой предметной области. Для лингвистических

переменных выявлены базовые терм-множества. Произведена соответствующая этим описаниям идентификация функций принадлежности нечетких множеств. Выбраны и обоснованы вид функций принадлежности, определены их параметры, произведена проверка выполнения требований, предъявляемых к их построению.

Произведено лингвистическое описание 12 факторов внешней среды и 8 регулируемых параметров. Параметры функций принадлежности входных и выходных факторов служат для построения базы знаний экспертной системы.

Библиографический список

1. *Паршин Д.Я.* Разработка способа моделирования переменных магнитных полей на основе сплошных проводящих сред. / Д.Я. Паршин, М.П. Винокуров. // Вестник ДГТУ. - Т.8. - №4(39). - 2008. - С.412-414.

2. Уборка урожая комбайнами «Дон» / Э.И. Липкович и др. – М.: Росагропромиздат, 1989.- 220 с.

3. *Жалнин Э.В.* Технологии уборки зерновых комбайновыми агрегатами. / Э.В. Жалнин, А.Н. Савченко. – М.: Россельхозиздат, 1985. - 207 с.

4. *Стефанский В.В.* Эксплуатация комбайнов «Дон». / В.В. Стефанский. - М.: Росагропромиздат, 1988.- 94 с.

5. *Иванцов В.И.* Валковые жатки. / В.И. Иванцов, О.И. Солошенко. – М.: Машиностроение, 1984. – 200 с.

6. *Заде Л.А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. / Л.А.Заде. - М.: Мир, 1976.- 165с.

7. *Борисова Л.В.* Методика моделирования предметной области «технологическая настройка» в нечеткой постановке / Л.В. Борисова. // Доклады РАСХН. - 2005. - №6. - С.62-65.

Материал поступил в редакцию 16.01.09.

L.V. BORISOVA, N.M SERBULOVA

COMBINE HARVESTER'S HEADER PART PRELIMINARY ADJUSTMENT SUBJECT DOMAIN MODELLING

Subject domain's Combine header part preliminary adjustment fuzzy expert knowledge representation some aspects are considered.
Subject domain's offered model forms a basis of base of knowledge expert system on technological service of combines.

БОРИСОВА Людмила Викторовна, завкафедрой «Экономика и менеджмент машиностроения» Ростовской государственной академии сельхозмашиностроения, доктор технических наук (2008), профессор. Окончила РГАСХМ (1991).
Сфера научных интересов: системы информационного обеспечения жизненного цикла продукции (экспертные системы), менеджмент качества. Имеет 177 научных публикаций (в том числе 10 учебных пособий и монографий).
moment04@yandex.ru

СЕРБУЛОВА Наталья Михайловна, инженер кафедры «Безопасность жизнедеятельности» РГАСХМа. Окончила РГАСХМ (2007).

Сфера научных интересов: системы информационного обеспечения жизненного цикла продукции, менеджмент качества. Имеет 3 научных публикации.
zabawa204@mail.ru